



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2014-0111396
(43) 공개일자 2014년09월19일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G06F 19/00 (2011.01) G06F 17/10 (2006.01)
G01R 31/02 (2006.01)
(21) 출원번호 10-2013-0025467
(22) 출원일자 2013년03월11일
심사청구일자 2013년03월11일

(71) 출원인
경희대학교 산학협력단
경기도 용인시 기흥구 덕영대로 1732, 국제캠퍼스 내 (서천동, 경희대학교)
(72) 발명자
유창규
경기 용인시 기흥구 덕영대로 1732, 1동 공과대학 (서천동, 경희대학교)
김민정
경기 용인시 기흥구 덕영대로 1732, 공과대학 27 5호 (서천동, 경희대학교)
(74) 대리인
고영갑, 권정기, 임상엽

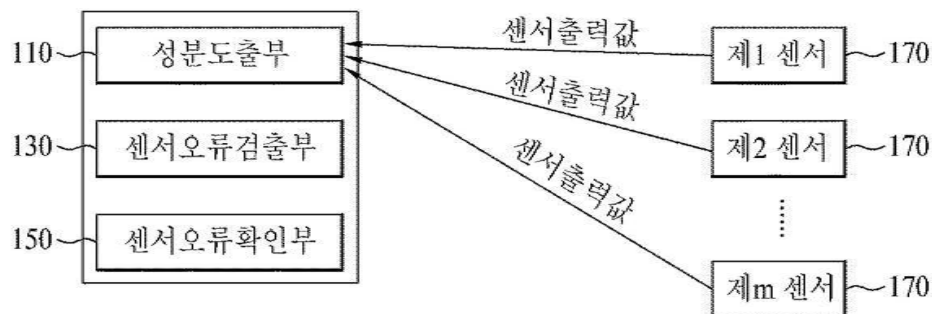
전체 청구항 수 : 총 19 항

(54) 발명의 명칭 센서 모니터링 장치, 센서 모니터링 방법, 및 이를 위한 기록매체

(57) 요약

본 발명의 실시예에 따른 센서 모니터링 장치는 센서값의 입력에 따라 상기 센서값을 형성하는 성분을 도출하는 성분도출부, 상기 센서값 및 상기 성분 사이의 관계를 만족하는 상관관계모델로부터 예측되는 상기 센서값의 예측값과 상기 센서값 사이의 차이를 이용하여 제1 오차계산을 수행하는 센서오류검출부 및 상기 센서값에 포함된 부분 센서값의 오류 복원값 및 상기 성분 사이의 관계를 만족하는 상기 상관관계모델로부터 예측되는 예측 복원값과, 상기 오류 복원값 사이의 차이를 이용하여 제2 오차계산을 수행하고, 상기 제1 오차계산 결과와 상기 제2 오차계산 결과에 따라 상기 부분 센서값의 정상 여부를 도출하는 센서오류확인부를 포함한다.

대 표 도 - 도1



특허청구의 범위

청구항 1

센서값의 입력에 따라 상기 센서값을 형성하는 성분을 도출하는 성분도출부;

상기 센서값 및 상기 성분 사이의 관계를 만족하는 상관관계모델로부터 예측되는 상기 센서값의 예측값과 상기 센서값 사이의 차이를 이용하여 제1 오차계산을 수행하는 센서오류검출부; 및

상기 센서값에 포함된 부분 센서값의 오류 복원값 및 상기 성분 사이의 관계를 만족하는 상기 상관관계모델로부터 예측되는 예측 복원값과, 상기 오류 복원값 사이의 차이를 이용하여 제2 오차계산을 수행하고, 상기 제1 오차계산 결과와 상기 제2 오차계산 결과에 따라 상기 부분 센서값의 정상 여부를 도출하는 센서오류확인부

를 포함하는 센서 모니터링 장치.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 입력되는 센서값들은 서로 상관관계가 있고, 상기 도출되는 성분들은 서로 독립적인 것을 특징으로 하는 센서 모니터링 장치.

청구항 3

제1항에 있어서,

상기 상관관계모델은,

상기 센서 모니터링 장치의 모니터링 수행 이전에 정상적인 센서값 입력이나 정상적인 센서값의 가상 입력을 통하여 미리 구축되는 것을 특징으로 하는 센서 모니터링 장치.

청구항 4

제3항에 있어서,

상기 센서값과 상기 성분이 상기 상관관계모델을 만족하지 않으면, 상기 예측값과 상기 센서값 사이의 차이가 기준값보다 큰 것을 특징으로 하는 센서 모니터링 장치.

청구항 5

제1항에 있어서,

상기 센서오류확인부는 상기 제1 오차계산 결과에 대한 상기 제2 오차계산 결과의 비율로 상기 부분 센서값의 정상 여부를 도출하는 것을 특징으로 하는 센서 모니터링 장치.

청구항 6

제5항에 있어서,

상기 센서값은 복수의 부분 센서값을 포함하며, 상기 복수의 부분 센서값 중 하나가 정상이고 다른 하나가 비정상인 경우,

상기 비정상인 부분 센서값에 해당되는 상기 비율은 상기 정상인 부분 센서값에 해당되는 상기 비율 보다 작은

것을 특징으로 하는 센서 모니터링 장치.

청구항 7

제6항에 있어서,

상기 센서오류확인부는

상기 정상인 부분 센서값을 바탕으로 상기 비정상 센서값의 오류 복원값을 도출하는 것을 특징으로 하는 센서 모니터링 장치.

청구항 8

제1항, 및 제5항 내지 제7항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 센서오류확인부는

상기 센서값에 포함된 부분 센서값들의 정상 여부와 상관없이 상기 부분 센서값들 각각에 해당되는 상기 제2 오차계산을 수행하는 것을 특징으로 하는 센서 모니터링 장치.

청구항 9

제1항에 있어서,

상기 오류 복원값은 상기 센서값들로 이루어진 행렬의 역행렬 사용 없이 도출되는 것을 특징으로 하는 센서 모니터링 장치.

청구항 10

제9항에 있어서,

상기 오류 복원값을 도출하는 센서오류복원부를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 센서 모니터링 장치.

청구항 11

제1항에 있어서,

상기 센서값은

센서로부터 출력된 센서출력값들 중 아웃라이어가 제거된 결과이고, 상기 센서출력값의 전송 과정에서 상기 센서출력값의 누락이 발생할 경우 상기 누락된 센서출력값을 대체하는 추정센서값을 포함하는 것을 특징으로 하는 센서 모니터링 장치.

청구항 12

제11항에 있어서,

상기 추정센서값은

상기 입력된 센서출력값들의 평균값을 통하여 추정되거나, 상기 누락된 센서출력값 전후에 입력된 센서출력값을 통하여 도출된 회귀선을 이용하여 계산되는 것을 특징으로 하는 센서 모니터링 장치.

청구항 13

제1항에 있어서,

상기 센서값들은 비가우시안 확률밀도분포를 따르는 것을 특징으로 하는 센서 모니터링 장치.

청구항 14

센서값의 입력에 따라 상기 센서값을 형성하는 성분을 도출하는 단계;

상기 센서값 및 상기 성분 사이의 관계를 만족하는 상관관계모델로부터 예측되는 상기 센서값의 예측값과 상기 센서값 사이의 차이를 이용하여 제1 오차계산을 수행하는 단계;

상기 센서값에 포함된 부분 센서값의 오류 복원값 및 상기 성분 사이의 관계를 만족하는 상기 상관관계모델로부터 예측되는 예측 복원값과, 상기 오류 복원값 사이의 차이를 이용하여 제2 오차계산을 수행하는 단계; 및

상기 제1 오차계산 결과와 상기 제2 오차계산 결과에 따라 상기 부분 센서값의 정상 여부를 도출하는 단계를 포함하는 센서 모니터링 방법.

청구항 15

제14항에 있어서,

상기 입력되는 센서값들은 서로 상관관계가 있고, 상기 도출되는 성분들은 서로 상관관계가 없는 것을 특징으로 하는 센서 모니터링 방법.

청구항 16

제14항에 있어서,

상기 제1 오차계산 결과에 대한 상기 제2 오차계산 결과의 비율로 상기 부분 센서값의 정상 여부를 도출되는 것을 특징으로 하는 센서 모니터링 방법.

청구항 17

제15항에 있어서,

상기 센서값은 복수의 부분 센서값을 포함하며, 상기 복수의 부분 센서값 중 하나가 정상이고 다른 하나가 비정상인 경우,

상기 비정상인 부분 센서값에 해당되는 상기 비율은 상기 정상인 부분 센서값에 해당되는 상기 비율 보다 작은 것을 특징으로 하는 센서 모니터링 방법.

청구항 18

제14항에 있어서,

상기 센서값들은 비가우시안 확률밀도분포를 따르는 것을 특징으로 하는 센서 모니터링 방법.

청구항 19

센서값의 입력에 따라 상기 센서값을 형성하는 성분을 도출하는 기능, 상기 센서값 및 상기 성분 사이의 관계를

만족하는 상관관계모델로부터 예측되는 상기 센서값의 예측값과 상기 센서값 사이의 차이를 이용하여 제1 오차계산을 수행하는 기능, 상기 센서값에 포함된 부분 센서값의 오류 복원값 및 상기 성분 사이의 관계를 만족하는 상기 상관관계모델로부터 예측되는 예측 복원값과, 상기 오류 복원값 사이의 차이를 이용하여 제2 오차계산을 수행하는 기능 및 상기 제1 오차계산 결과와 상기 제2 오차계산 결과에 따라 상기 부분 센서값의 정상 여부를 도출하는 기능을 구현하는 프로그램을 기록한 컴퓨터로 읽을 수 있는 기록매체.

명세서

기술분야

[0001] 본 발명은 센서 모니터링 장치, 센서 모니터링 방법, 및 이를 위한 기록매체에 관한 것이다.

배경기술

[0002] 대도시의 지하철 시스템과 같이 사람의 왕래가 많은 환경의 경우 이용자들에게 영향을 미칠 수 있는 여러 오염물질들(예를 들어, 입자상 물질, 질소산화물(NO_x), 탄소산화물(CO_x), 유기화합물)이나 습도 및 온도 등을 체크하기 위하여 다양한 센서들이 설치된다.

[0003] 이와 같은 센서들은 때때로 센서들의 노후화나 열악한 설치 환경으로 인하여 오동작하거나 고장날 수 있으며, 센서들의 오동작이나 고장은 센서들에 대한 신뢰성 및 정확성을 떨어뜨리는 요인이 되고 있다. 이에 따라 센서들의 오동작이나 고장을 확인하고 비정상적인 센서로부터 출력된 센서신호를 복원하는 센서 모니터링 기술이 필요하게 되었다.

[0004] 최근 비정상 센서의 확인 및 비정상 센서신호에 대한 복원에 대한 여러 연구가 발표되었다.

[0005] Qin과 Li는 최대 감도를 지닌 구조화 잔차 접근법(SRAMS : Structured Residual Approach with a Maximized Sensitivity)을 이용하여 산업 보일러 용광로에서 센서의 비정상 동작을 확인하였다.

[0006] Yue와 Qin은 비정상 검출을 위한 인덱스를 제안하였다. 비정상 검출을 위한 인덱스는 SPE(Squared Prediction Error)와 PCA(Principal Component Analysis)를 이용하여 얻은 T^2 을 결합한다. 또한, Yue와 Qin은 오류 이력 데이터(historical fault data)로부터 오류 방향을 추출하는 방법 역시 제안하였다.

[0007] Wang과 Chen, 그리고 Wang과 Xiao는 센서 오류의 검출 및 분석을 위하여 PCA와 SVI(Sensor Validity Index)를 사용하였다.

[0008] Lee et al.은 CVA(Canonical Variate Analysis)를 이용하는 동적 처리를 통하여 센서 오류를 확인하고, CVA와 동적 PCA 방법의 확인 정확도를 비교하였다.

[0009] 이러한 연구들은 처리 변수들이 다변수 가우시안 분포(multivariate Gaussian distribution)를 따른다고 가정하였다. 실제로 IAQ(Indoor Air Quality)와 같이 센서로부터 측정된 변수들은 서로 상관관계를 갖는데, 이것은 그 변수들이 비가우시안 분포(non-Gaussian distribution)를 따른다는 것을 의미한다. 따라서 변수들이 비가우시안 분포를 따르는 것을 고려한 새로운 접근이 필요하다.

[0010] 최근, 변수들의 비가우시안 거동을 고려하는 여러 연구가 보고되었다.

[0011] Ge et al.은 ICA (Independent Component Analysis)와 SVDD(Support Vector Data Description)를 이용하는 다변수 비가우시안 처리로부터 센서 오류를 확인했다.

[0012] Kano et al.은 ICA를 이용하여 센서 오류를 검출하고, 일반적인 방법과 ICA의 검출 정확도를 비교했다.

[0013] Zhang은 비선형 동적 처리로부터 센서 오류를 분리하는 커널(kernel) ICA 방법을 제안했다.

[0014] Li et al.은 ICA 방법을 위성의 자이로스코프 센서에 적용했다. 그들은 센서 오류의 복원뿐만 아니라 센서 오류에 확인에 초점을 맞추었다.

[0015] 이상과 같은 연구 이외에 변수들이 비가우시안 분포를 따르는 것을 고려한 센서의 오류 확인이나 복원에 대한 다양한 연구가 진행되고 있다.

선행기술문헌

비특허문헌

- [0016] (비특허문헌 0001) 1. S.J. Qin, W.H. Li, Detection, identification, and reconstruction of faulty sensors with maximized sensitivity, *AIChE Journal* 45 (1999) 1963-1976.
- (비특허문헌 0002) 2. H.H. Yue, S.J. Qin, Reconstruction-based fault identification using a combined index, *Ind. Eng. Chem. Res.* 40 (2001) 4403-4414.
- (비특허문헌 0003) 3. S.W. Wang, F. Xiao, AHU sensor fault diagnosis using principal component analysis method, *Energy and Buildings* 36 (2004a) 147-160.
- (비특허문헌 0004) 4. S.W. Wang, F. Xiao, AHU sensor fault diagnosis using principal component analysis method, *Energy and Buildings* 36 (2004a) 147-160.
- (비특허문헌 0005) 5. S.W. Wang, Y.M. Chen, Sensor validation and reconstruction for building central chilling systems based on principal component analysis, *Energy Conversion and Management* 45 (2004b) 673-695.
- (비특허문헌 0006) 6. C.K. Lee, S.W. Choi, I.B. Lee, Variable reconstruction and sensor fault identification using canonical variate analysis, *J. Process Control* 16 (2006) 747-761.
- (비특허문헌 0007) 7. Z.Q. Ge, L. Xie, U. Kruger, L. Lamont, Z.H. Song, S.Q. Wang, Sensor fault identification and isolation for multivariate non-Gaussian processes, *J. Process Control* 19 (2009) 1707-0715.
- (비특허문헌 0008) 8. M.N.B. Kano, S.H. Tanaka, S.J. Hasebe, I.R. Hashimoto, Monitoring independent components for fault detection, *AIChE Journal* 49 (2003) 969-976.
- (비특허문헌 0009) 9. Y.W. Zhang, Fault detection and diagnosis of nonlinear processes using improved kernel independent component analysis (ICA) and support vector machine (SVM), *Ind. Eng. Chem. Res.* 47 (2008) 6961-6971.

발명의 내용

해결하려는 과제

- [0017] 본 발명의 실시예에 따른 센서 모니터링 장치, 센서 모니터링 방법, 및 이를 위한 기록매체는 비가우시안 확률 분포를 따르는 센서값을 분석하기 위한 것이다.
- [0018] 본 발명의 실시예에 따른 센서 모니터링 장치, 센서 모니터링 방법, 및 이를 위한 기록매체는 오류가 일어난 센서를 검출하고 비정상적인 센서값을 복원하기 위한 것이다.

과제의 해결 수단

- [0019] 본 발명의 일측면에 따르면, 센서값의 입력에 따라 상기 센서값을 형성하는 성분을 도출하는 성분도출부, 상기 센서값 및 상기 성분 사이의 관계를 만족하는 상관관계모델로부터 예측되는 상기 센서값의 예측값과 상기 센서값 사이의 차이를 이용하여 제1 오차계산을 수행하는 센서오류검출부 및 상기 센서값에 포함된 부분 센서값의 오류 복원값 및 상기 성분 사이의 관계를 만족하는 상기 상관관계모델로부터 예측되는 예측 복원값과, 상기 오류 복원값 사이의 차이를 이용하여 제2 오차계산을 수행하고, 상기 제1 오차계산 결과와 상기 제2 오차계산 결과에 따라 상기 부분 센서값의 정상 여부를 도출하는 센서오류확인부를 포함하는 센서 모니터링 장치가 제공된다.
- [0020] 상기 입력되는 센서값들은 서로 상관관계가 있고, 상기 도출되는 성분들은 서로 상관관계가 없을 수 있다.
- [0021] 상기 상관관계모델은, 상기 센서 모니터링 장치의 모니터링 수행 이전에 정상적인 센서값 입력이나 정상적인 센서값의 가상 입력을 통하여 미리 구축될 수 있다.
- [0022] 상기 센서값과 상기 성분이 상기 상관관계모델을 만족하지 않으면, 상기 예측값과 상기 센서값 사이의 차이가

기준값보다 클 수 있다.

- [0023] 상기 센서오류확인부는 상기 제1 오차계산 결과에 대한 상기 제2 오차계산 결과의 비율로 상기 부분 센서값의 정상 여부를 도출할 수 있다.
- [0024] 상기 센서값은 복수의 부분 센서값을 포함하며, 상기 복수의 부분 센서값 중 하나가 정상이고 다른 하나가 비정상인 경우, 상기 비정상인 부분 센서값에 해당되는 상기 비율은 상기 정상인 부분 센서값에 해당되는 상기 비율보다 작을 수 있다.
- [0025] 상기 센서오류확인부는 상기 정상인 부분 센서값을 바탕으로 상기 비정상 센서값의 오류 복원값을 도출할 수 있다.
- [0026] 상기 센서오류확인부는 상기 센서값에 포함된 부분 센서값들의 정상 여부와 상관없이 상기 부분 센서값들 각각에 해당되는 상기 제2 오차계산을 수행할 수 있다.
- [0027] 상기 오류 복원값은 상기 센서값들로 이루어진 행렬의 역행렬 사용 없이 도출될 수 있다.
- [0028] 본 발명의 일측면에 따른 센서 모니터링 장치는 상기 오류 복원값을 도출하는 센서오류복원부를 더 포함할 수 있다.
- [0029] 상기 센서값은 센서로부터 출력된 센서출력값들 중 아웃라이어가 제거된 결과이고, 상기 센서출력값의 전송 과정에서 상기 센서출력값의 누락이 발생될 경우 상기 누락된 센서출력값을 대체하는 추정센서값을 포함할 수 있다.
- [0030] 상기 추정센서값은 상기 입력된 센서출력값들의 평균값을 통하여 추정되거나, 상기 누락된 센서출력값 전후에 입력된 센서출력값을 통하여 도출된 회귀선을 이용하여 계산될 수 있다.
- [0031] 상기 센서값들은 비가우시안 확률밀도분포를 따를 수 있다.
- [0032] 본 발명의 다른 측면에 따르면, 센서값의 입력에 따라 상기 센서값을 형성하는 성분을 도출하는 단계, 상기 센서값 및 상기 성분 사이의 관계를 만족하는 상관관계모델로부터 예측되는 상기 센서값의 예측값과 상기 센서값 사이의 차이를 이용하여 제1 오차계산을 수행하는 단계, 상기 센서값에 포함된 부분 센서값의 오류 복원값 및 상기 성분 사이의 관계를 만족하는 상기 상관관계모델로부터 예측되는 예측 복원값과, 상기 오류 복원값 사이의 차이를 이용하여 제2 오차계산을 수행하는 단계 및 상기 제1 오차계산 결과와 상기 제2 오차계산 결과에 따라 상기 부분 센서값의 정상 여부를 도출하는 단계를 포함하는 센서 모니터링 방법이 제공될 수 있다.
- [0033] 상기 입력되는 센서값들은 서로 상관관계가 있고, 상기 도출되는 성분들은 서로 상관관계가 없을 수 있다.
- [0034] 상기 제1 오차계산 결과에 대한 상기 제2 오차계산 결과의 비율로 상기 부분 센서값의 정상 여부를 도출될 수 있다.
- [0035] 상기 센서값은 복수의 부분 센서값을 포함하며, 상기 복수의 부분 센서값 중 하나가 정상이고 다른 하나가 비정상인 경우, 상기 비정상인 부분 센서값에 해당되는 상기 비율은 상기 정상인 부분 센서값에 해당되는 상기 비율보다 작을 수 있다.
- [0036] 상기 센서값들은 비가우시안 확률밀도분포를 따를 수 있다.
- [0037] 본 발명의 또다른 측면에 따르면, 센서값의 입력에 따라 상기 센서값을 형성하는 성분을 도출하는 기능, 상기 센서값 및 상기 성분 사이의 관계를 만족하는 상관관계모델로부터 예측되는 상기 센서값의 예측값과 상기 센서값 사이의 차이를 이용하여 제1 오차계산을 수행하는 기능, 상기 센서값에 포함된 부분 센서값의 오류 복원값 및 상기 성분 사이의 관계를 만족하는 상기 상관관계모델로부터 예측되는 예측 복원값과, 상기 오류 복원값 사이의 차이를 이용하여 제2 오차계산을 수행하는 기능 및 상기 제1 오차계산 결과와 상기 제2 오차계산 결과에 따라 상기 부분 센서값의 정상 여부를 도출하는 기능을 구현하는 프로그램을 기록한 컴퓨터로 읽을 수 있는 기록매체가 제공될 수 있다.

발명의 효과

- [0038] 본 발명의 실시예에 따른 센서 모니터링 장치, 센서 모니터링 방법, 및 이를 위한 기록매체는 센서값에 해당되는 확률변수의 비가우시안 거동을 고려함으로써 센서 오류를 확인할 수 있다.

도면의 간단한 설명

- [0039] 도 1 및 도 5는 본 발명의 실시예에 따른 센서 모니터링 장치를 나타낸다.
 도 2는 성분의 최적 개수를 구하기 위한 유클리디안 놈 그래프이다.
 도 3(a) 내지 도 3(d)는 ICA 기법과 PCA 기법을 비교하기 위한 산포도 그래프를 나타낸다.
 도 4는 다양한 센서의 I-SVI를 나타내는 그래프들이다.
 도 6(a) 및 도 6(b)는 센서값들의 비가우시안 확률밀도분포를 나타내는 그래프이다.
 도 7은 본 발명의 실시예에 따른 센서 모니터링 장치의 구현예를 나타낸다.
 도 8은 본 발명의 실시예에 따른 센서 모니터링 방법을 나타내는 순서도이다.
 도 9(a) 내지 도 9(d)는 센서의 다양한 오류를 나타낸다.
 도 10(a) 및 도 10(b)는 바이어스 오류의 검출을 나타낸다.
 도 11(a) 및 도 11(b)는 센서값의 복원 결과를 나타내는 그래프이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0040] 이하 본 발명의 목적이 구체적으로 실현될 수 있는 본 발명의 실시예를 첨부된 도면을 참조하여 설명한다. 본 실시예를 설명함에 있어서, 동일 구성에 대해서는 동일 명칭 및 동일 부호가 사용되며 이에 따른 부가적인 설명은 생략하기로 한다.
- [0041] 본 발명의 실시예에 따른 센서 모니터링 장치, 센서 모니터링 방법 및 이를 위한 기록매체는 독립성분분석(ICA : Independent Component Analysis)을 이용하여 센서 오류의 확인 및 복원을 수행할 수 있다.
- [0042] 이에 따라 본 발명의 실시예에 따른 센서 모니터링 장치, 센서 모니터링 방법, 및 이를 위한 기록매체는 센서값에 해당되는 확률변수의 비가우시안 거동을 고려하여 센서 오류를 확인하고 오류가 발생한 센서로부터 출력된 센서값을 복원할 수 있다.
- [0043] 본 발명의 실시예에 따른 센서 모니터링 장치, 센서 모니터링 방법, 및 이를 위한 기록매체는 센서 오류의 발생 여부를 검출하기 위하여 SPE(Squared Prediction Error)를 이용할 수 있다.
- [0044] 본 발명의 실시예에 따른 센서 모니터링 장치, 센서 모니터링 방법, 및 이를 위한 기록매체는, 다수의 센서들로부터 센서오류를 확인하기 위하여 ICA 기반의 센서 유효 인덱스, 즉, I-SVI(ICA based Sensor Validation Index)를 이용할 수 있다.
- [0045] 본 발명의 실시예에 따른 센서 모니터링 장치, 센서 모니터링 방법, 및 이를 위한 기록매체는 독립성분분석법을 통하여 센서 오류를 정상으로 복구할 수 있다.
- [0046] 도 1은 본 발명의 실시예에 따른 센서 모니터링 장치를 나타낸다. 도 1에 도시된 바와 같이, 본 발명의 실시예에 따른 센서 모니터링 장치는 성분도출부(110), 센서오류검출부(130) 및 센서오류확인부(150)를 포함한다.
- [0047] 성분도출부(110)는 센서값의 입력에 따라 센서값을 형성하는 성분을 도출한다. 센서값은 센서(170)로부터 출력된 센서출력신호에 대한 오토 스케일링(auto-scaling)이 이루어진 것일 수 있다.
- [0048] 본 발명의 실시예에서 센서(170)는 지하철 시스템에서 설치가능한 입자상 물질(Particulate Matter) 검출용 센서, 탄소산화물(COx) 검출용 센서, 질소산화물(NOx) 검출용 센서를 포함할 수 있으나 이에 한정되는 것은 아니다.
- [0049] 본 발명의 실시예에 따른 센서 모니터링 장치는 단위 및 신호의 크기가 다른 다양한 센서출력값을 처리하므로 오토 스케일링을 통하여 센서출력값이 미리 정한 한계 내에 들도록 변환될 수 있다.
- [0050] 이 때 센서값은 센서(170)로부터 출력된 센서출력값들 중 아웃라이어(outlier)가 제거된 결과일 수 있다. 센서출력값의 표준화된 잔여값(residual)이 2보다 크면 표준화된 잔여값은 95% 신뢰구간의 한계에서 벗어나므로 가외치로 간주될 수 있다. 아웃라이어의 제거 역시 성분도출부(110)를 통하여 이루어질 수 있으나, 별도의 장치를 통하여 이루어질 수도 있다.

[0051] 또한 센서출력값이 본 발명의 실시예에 따른 센서 모니터링 장치로 전송되는 과정에서 센서출력값의 누락이 발생할 수 있다. 이 경우 센서값은 누락된 센서출력값을 대체하는 추정센서값을 포함할 수 있다. 이 때 추정센서값은 입력된 센서출력값들의 평균값을 통하여 추정되거나, 누락된 센서출력값 전후에 입력된 센서출력값을 통하여 도출된 회귀선을 이용하여 계산될 수 있다.

[0052] 이러한 오토 스케일링, 아웃라이어의 제거, 추정센서값의 계산은 성분도출부(110)를 통하여 이루어질 수 있으나, 별도의 장치를 통하여 이루어질 수도 있다.

[0053] 성분도출부(110)는 성분분석법을 통하여 구축된 상관관계모델을 저장할 수 있다. 센서값들과 성분들 사이의 상관관계모델은 아래의 수학적 식 1을 통하여 구축될 수 있다.

수학적 식 1

$$\mathbf{X} = \mathbf{A}\mathbf{S} + \mathbf{E} = \sum \mathbf{a}_i \mathbf{s}_i + \mathbf{E}$$

[0054]

[0055] 수학적 식 1에서 행렬 $\mathbf{X}$ 는 각 센서(170)들의 센서값들로 이루어진 행렬일 수 있다. 이 때 행렬 $\mathbf{X}$ 의 센서값은 각 센서(170)가 측정 시간 동안 출력한 센서출력값에 해당될 수 있으며, 측정 시간은 첫 번째 단위시간 내지 k번째 단위시간(k는 2 이상의 자연수)으로 이루어질 수 있다. 단위 시간은 한 시간 또는 하루일 수 있으나 이에 한정되지 않으며 한 시간 또는 하루보다 더 짧거나 길 수 있다.

[0056] 행렬 $\mathbf{X}$ 의 표본공간은 처리 서브공간(process subspace)과 노이즈 서브공간(noise subspace)으로 나눌 수 있으며, 행렬 $\mathbf{A}$ 에 의하여 서로 독립적인 성분 $\mathbf{s}_i$ 이 믹싱되어 행렬 $\mathbf{X}$ 가 도출될 수 있다. 각 센서(170)들의 센서값들은 성분 $\mathbf{s}_i$ 를 바탕으로 이루어질 수 있다.

[0057] 처리 서브공간은 벡터 $\mathbf{a}_i$ 와 $\mathbf{s}_i$ 의 외적의 합일 수 있다. 벡터 $\mathbf{a}_i$ 와 $\mathbf{s}_i$ 의 외적의 합은 믹싱 행렬(mixing matrix) $\mathbf{A}$ 와 성분 행렬 $\mathbf{S}$ 의 행렬곱에 해당되며 행렬 $\mathbf{E}$ 는 노이즈 서브공간에 해당되는 행렬이다.

[0058] 행렬 $\mathbf{E}$ 가 영행렬이라고 가정하면 수학적 식 1을 통하여 센서값을 형성하는 성분으로 이루어진 행렬 $\mathbf{S}$ 가 수학적 식 2를 통하여 도출될 수 있다.

수학적 식 2

$$\mathbf{S} = \mathbf{A}^{-1} \mathbf{X} = \mathbf{W} \mathbf{X}$$

[0059]

[0060] 행렬 $\mathbf{W}$ 는 행렬 $\mathbf{A}$ 의 역행렬이고, 행렬 $\mathbf{A}$ 가 믹싱 행렬이므로 행렬 $\mathbf{W}$ 는 디믹싱 행렬(de-mixing matrix)일 수 있다.

[0061] 이와 같이 행렬 $\mathbf{X}$ 가 행렬 $\mathbf{S}$ 를 바탕으로 도출되므로 행렬 $\mathbf{X}$ 를 구성하는 센서값들은 서로 상관관계(correlation)가 있으나 행렬 $\mathbf{S}$ 를 구성하는 성분들은 서로 독립적일 수 있다.

[0062] 이 때 믹싱 행렬(mixing matrix) $\mathbf{A}$ 는 다음의 수학적 식 3을 통하여 구할 수 있다.

수학적 식 3

$$\mathbf{A} = \mathbf{Q}^{-1} \mathbf{B} \mathbf{D}^{-0.5},$$

[0063]

[0064] 이 때 $\mathbf{Q}$ 는 화이트닝 행렬(whitening matrix)로서 센서값에 대한 고유값과 고유벡터에 따른 행렬을 나타내고, $\mathbf{B}$ 는 $\mathbf{S}$ 와 non-gaussianity를 만족하는 행렬로서 행렬 $\mathbf{S}$ 의 직교 행렬(orthogonal matrix)을 나타내며, $\mathbf{D}$ 는 행렬 $\mathbf{X}$ 의 고유값이다.

[0065] 한편, 성분들의 non-gaussianity와 디믹싱 행렬 $\mathbf{W}$ 의 유클리디안 놈(Euclidean norm)을 통하여 성분의 최적 개수는 도출될 수 있다. 이에 따라 행렬 $\mathbf{S}$ 를 구성하는 성분의 최적 개수는 도 2에 도시된 바와 같이, 성분이 2개일 때와 3개일 때 디믹싱 행렬 $\mathbf{W}$ 의 유클리디안 놈이 급격하게 변하므로 성분의 최적 개수는 2개일 수 있다.

[0066] 다음의 수학적 4는 성분의 개수가 2개일 때 센서값과 성분 사이의 상관관계모델의 일례를 나타낸다.

수학적 4

$$\begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 3 \\ 1 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} s_1 \\ s_2 \end{bmatrix}$$

[0067]

[0068] 여기서 s_1 과 s_2 는 성분에 해당되고, x_1 과 x_2 는 센서값에 해당되며, 1, 3, 1, 1은 믹싱 행렬 $\mathbf{A}$ 의 원소일 수 있다. 이와 같은 상관관계모델은 일례일 뿐이며 본 발명의 실시예에 따른 센서 모니터링 장치 및 방법이 수학적 4의 상관관계모델에 한정되지 않는다.

[0069] 도 3의 (a)에 도시된 성분 s_1 및 s_2 의 산포도(scatter plot)의 데이터는 수학적 4의 상관관계모델에 의하여 도 3의 (b)와 같은 x_1 및 x_2 의 산포도(scatter plot) 데이터로 변환될 수 있다.

[0070] 도 3의 (c) 및 도 3의 (d)는 x_1 및 x_2 에 대한 산포도(scatter plot) 데이터를 각각 앞서 언급된 PCA 기법 및 ICA 기법으로 복원한 것을 나타낸다. 도 3(a)의 산포도 형상은 직사각형이나 PCA 기법으로 복원될 경우 U_1 및 U_2 의 산포도의 형상은 도 3(a)의 산포도 형상과 다름을 알 수 있다. 또한 ICA 기법으로 복원될 경우 U_1 및 U_2 의 산포도의 형상은 도 3(a)의 산포도 형상과 유사함을 알 수 있다. 이에 따라 PCA 기법에 의한 복원에 비하여 ICA 기법에 의한 복원이 보다 우수함을 알 수 있다.

[0071] 센서값의 복원에 대해서는 이후에 도면 및 수학적을 참조하여 상세히 설명한다.

[0072] 이와 같은 상관관계모델은 센서 모니터링 장치의 모니터링 수행 이전에 정상적인 센서값 입력이나 정상적인 센서값의 가상 입력을 통하여 미리 구축될 수 있다.

[0073] 즉, 상관관계모델은 센서(170)가 정상적으로 동작할 때 센서값과 성분 사이의 상관관계를 나타내며, 본 발명의 실시예에 따른 센서 모니터링 장치는 이와 같은 상관관계모델을 통하여 비정상적인 센서값의 입력에 따른 센서 오류를 검출할 수 있다.

[0074] 실제 환경에서 센서(170)의 센서값은 정상값 또는 비정상값이 혼재할 수 있으므로 상관관계모델은 센서 모니터링 장치가 실제 환경에 적용되기 전에 구축될 수 있다. 따라서 상관관계모델의 구축을 위하여 정상적 동작이 확인된 센서(170)들이 이용되거나, 센서(170)로부터 직접 출력된 센서출력값이 아니라 정상적인 센서값의 가상 입력을 통하여 상관관계모델이 구축될 수 있다.

[0075] 한편, 도 1의 센서오류검출부(130)는 센서값 및 성분 사이의 관계를 만족하는 상관관계모델로부터 예측되는 센서값의 예측값과 센서값 사이의 차이를 이용하여 제1 오차계산을 수행한다.

[0076] 센서오류검출부(130)는 수학적 5를 통하여 제1 오차계산을 수행할 수 있다.

수학적 5

$$\mathbf{SPE}(k) = \mathbf{e}(k)^T \mathbf{e}(k) = (\mathbf{x}(k) - \hat{\mathbf{x}}(k))^T (\mathbf{x}(k) - \hat{\mathbf{x}}(k))$$

[0077]

[0078] $\mathbf{SPE}(k)$ 는 Squared Prediction Error이고, $\mathbf{x}(k)$ 는 k 번째 단위 시간 동안 전체 센서(170)들로부터 출력된 센서

출력값들의 센서값으로 이루어진 행렬을 나타낸다. $\hat{\mathbf{x}}(k)$ 는 $\mathbf{x}(k)$ 의 모자 행렬(hat matrix)을 나타낸다. 수학적식 5의 윗첨자 T는 행렬의 전치행렬(transpose matrix)을 나타낸다.

[0079] $\mathbf{x}(k)$ 의 모자 행렬은 k 번째 단위 시간에서의 센서값의 예측값에 해당되며, 예측값은 센서값과 성분 사이의 관계를 만족하는 상관관계모델로부터 예측될 수 있다.

[0080] $\mathbf{x}(k)$ 의 모자 행렬은 다음의 수학적식 6을 통하여 도출될 수 있다.

수학적식 6

[0081]
$$\hat{\mathbf{x}} = \mathbf{Q}^{-1} \mathbf{B} \mathbf{S}_d$$

[0082] $\mathbf{Q}^{-1}$ 는 화이트닝 행렬의 역행렬을 나타내고, $\mathbf{B}$ 는 행렬 $\mathbf{S}$ 의 직교 행렬을 나타내며, $\mathbf{S}_d$ 는 행렬 $\mathbf{S}$ 의 도미넌트 부분(dominant part)을 나타낸다.

[0083] 센서오류검출부(130)는 수학적식 5를 통하여 $\mathbf{SPE}(\mathbf{x})$ 를 계산할 수 있다. 측정 시간의 첫 번째 단위시간 내지 k번째 단위시간 각각에서 $\mathbf{SPE}(1)$, $\mathbf{SPE}(2)$, ..., $\mathbf{SPE}(k)$ 가 도출될 경우 $\mathbf{SPE}(\mathbf{x})$ 는 $\mathbf{SPE}(1)$, $\mathbf{SPE}(2)$, ..., $\mathbf{SPE}(k)$ 로 이루어진 행렬일 수 있다. 센서오류검출부(130)는 $\mathbf{SPE}(\mathbf{x})$ 를 도출하는 제1 오차계산을 수행할 수 있다.

[0084] 이 때 센서값과 성분이 상관관계모델을 만족하지 않으면, 예측값과 센서값 사이의 차이가 기준값보다 클 수 있다. 예를 들어, 상관관계모델에서의 센서값과 성분 사이의 상관관계가 깨지게 되면, $\mathbf{SPE}(\mathbf{x})$ 가 δ^2 보다 클 수 있다. 반대로 상관관계모델에서의 센서값과 성분 사이의 상관관계가 유지되면, $\mathbf{SPE}(\mathbf{x})$ 가 δ^2 이하일 수 있다. δ^2 는 $\mathbf{SPE}$ 의 신뢰한계(a confidence limit) 또는 문턱값(threshold)으로서 커널밀도추정(kernel density estimation)에 의하여 계산될 수 있다. 커널밀도추정은 커널 함수(kernel function)를 통하여 이루어지며 통상의 기술자에게 일반적인 내용이므로 이에 대한 설명은 생략된다.

[0085] 예측값은 상관관계모델을 통하여 도출되는데 상관관계모델이 정상적인 센서값을 기반으로 구축되므로 센서값과 예측값 사이의 차이가 크다는 것은 실제 센서(170)들이 출력한 센서출력값이 비정상이라는 것을 의미한다. 따라서 $\mathbf{SPE}(\mathbf{x})$ 가 기준값보다 커지면 전체 센서(170)들 중 일부가 정상적으로 동작하지 않음을 알 수 있다.

[0086] 한편, 도 1의 센서오류확인부(150)는 센서값에 포함된 부분 센서값의 오류 복원값 및 성분 사이의 관계를 만족하는 상관관계모델로부터 예측되는 예측 복원값과, 오류 복원값 사이의 차이를 이용하여 제2 오차계산을 수행한다. 또한 센서오류확인부(150)는 제1 오차계산 결과와 제2 오차계산 결과에 따라 부분 센서값의 정상 여부를 도출한다.

[0087] m 개(m는 2 이상의 자연수)의 센서(170)들에 의한 센서값은 첫 번째 센서(170)에 의한 센서값 x_1 , 두 번째 센서(170)에 의한 센서값 x_2 , ..., m 번째 센서(170)에 의한 센서값 x_m 을 포함하므로 이하에서는 각 센서(170)에 대한 센서값을 부분 센서값이라 한다. 따라서 센서값은 부분 센서값 $x_1, x_2, \dots, x_m$ 을 포함한다.

[0088] m 개의 센서(170)들 중 하나(예를 들어, j-2번째 센서)가 정상으로 동작하고 다른 하나(예를 들어, j번째 센서)에서 오류가 일어날 때 정상 센서(170)의 센서값, 즉, j-2번째 부분 센서값은 정상이고 오류가 일어난 센서(170)의 센서값, 즉, j번째 부분 센서값은 비정상이다.

[0089] 이 때 j-2번째 부분 센서값(x_{j-2})과 j번째 부분 센서값(x_j) 각각에 대한 오류 복원값(x_{*j-2}, x_{*j})이 계산된다. 즉, 부분 센서값의 정상 여부와 관계없이 각 부분 센서값이 비정상적이라는 가정 하에 부분 센서값 각각에 대한 오류 복원값이 도출된다.

[0090] 오류 복원값의 계산과정은 이후에 수학적식들을 참조하여 상세히 설명된다.

[0091] 부분 센서값의 오류 복원값(x_{*j-2}, x_{*j})이 도출되면, 부분 센서값의 오류 복원값과 성분 사이의 관계를 만족하는 상관관계모델로부터 예측되는 예측 복원값(hat $\mathbf{x}_{*j-2}$, hat $\mathbf{x}_{*j}$)이 도출된다. 센서오류확인부(150)는 예측 복원값

($\hat{x}_{j-2}^*$, $\hat{x}_j^*$)과 오류 복원값(x_{j-2}^* , x_j^*) 사이의 차이를 이용하여 제2 오차계산($SPE(x_{j-2}^*)$, $SPE(x_j^*)$)을 수행할 수 있다.

[0092] 즉, 센서오류확인부(150)는 센서값에 포함된 부분 센서값들의 정상 여부와 상관없이 부분 센서값들 각각에 해당되는 제2 오차계산을 수행할 수 있다. 이와 같은 예측 복원값의 도출 및 제2 오차계산 역시 수학적 식 5 및 수학적 식 6을 통하여 이루어질 수 있다.

[0093] 앞서 설명된 바와 같이, j번째 부분 센서값(x_j)은 비정상이므로 j번째 부분 센서값(x_j)을 복원하면 오류 복원값 x_j^* 은 정상이 된다. 이에 따라 오류 복원값 x_j^* 에 대한 예측 복원값 $\hat{x}_j^*$ 과 오류 복원값(x_j^*) 사이의 제2 오차계산 $SPE(x_j^*)$ 은 기준값(δ^2) 이하일 수 있다.

[0094] 반면에 j-2번째 부분 센서값(x_{j-2})은 정상인데 이에 대한 오류 복원값(x_{j-2}^*)이 도출되므로 오류 복원값(x_{j-2}^*) 자체는 비정상이다. 따라서 오류 복원값(x_{j-2}^*)에 대한 예측 복원값 $\hat{x}_{j-2}^*$ 과 오류 복원값(x_{j-2}^*) 사이의 제2 오차계산 $SPE(x_{j-2}^*)$ 은 기준값보다 크게 된다.

[0095] 센서오류확인부(150)는 제1 오차계산 결과($SPE(x)$)와 제2 오차계산 결과($SPE(x_j^*)$, $SPE(x_{j-2}^*)$)에 따라 부분 센서값(x_{j-2} , x_j)의 정상 여부를 도출할 수 있다.

[0096] 예를 들어, 센서오류확인부(150)는 제1 오차계산 결과($SPE(x)$)에 대한 제2 오차계산 결과($SPE(x_j^*)$, $SPE(x_{j-2}^*)$)의 비율로 부분 센서값의 정상 여부를 도출할 수 있다.

수학적 식 7

$$I-SVI_j = \frac{SPE(x_j^*)}{SPE(x)}$$

[0097]

[0098] 부분 센서값(x_j)이 비정상이므로 제1 오차계산 결과($SPE(x)$)는 기준값(δ^2)보다 크게 되지만 $SPE(x_j^*)$ 는 기준값 이하이다. 반면에 부분 센서값(x_{j-2})이 정상이므로 $SPE(x_{j-2}^*)$ 는 기준값보다 크다.

[0099] $I-SVI_i$ 와 $I-SVI_{i-2}$ 의 계산 과정에서 제1 오차계산 결과($SPE(x)$)는 공통적으로 사용되며, 이 때 $SPE(x_j^*)$ 가 $SPE(x_{j-2}^*)$ 보다 작으므로 $I-SVI_i$ 가 $I-SVI_{i-2}$ 보다 작다. 즉, 비정상인 부분 센서값(x_j)에 해당되는 비율($I-SVI_i$)은 정상인 부분 센서값(x_{j-2})에 해당되는 비율($I-SVI_{i-2}$)은 보다 작을 수 있다.

[0100] 본 발명의 실시예의 경우 도 4와 같이 $I-SVI$ 가 0.5가 크면 부분 센서값이 정상이고, 0.5 이하이면 부분 센서값은 비정상이다. 앞서의 예에서는 $I-SVI_i$ 는 0.5보다 작고 $I-SVI_{i-2}$ 는 0.5보다 크다.

[0101] 따라서 부분 센서값(x_j)이 비정상적으로 판별되고, 부분 센서값(x_j)에 해당되는 j번째 센서(170)에 오류가 일어났다고 표시될 수 있다. 또한 부분 센서값(x_{j-2})이 정상으로 판별되고, 부분 센서값(x_{j-2})에 해당되는 j-2번째 센서(170)는 정상이라고 표시될 수 있다.

[0102] 한편, 부분 센서값의 오류 복원값을 구하는 방법은 iterative approach, missing data replacement, 그리고 optimization approach 등이 있으나 본 발명의 실시예에 따른 센서 모니터링 장치는 iterative approach를 통하여 오류 복원값을 구할 수 있다. iterative approach의 경우 missing data replacement, 그리고 optimization approach와 다르게 센서값들로 이루어진 행렬의 역행렬 사용 없이 오류 복원값을 도출할 수 있으므로 오류 복원값의 계산과정이 비교적 용이할 수 있다.

[0103] iterative approach를 통한 부분 센서값의 오류 복원값은 다음의 수학적식들을 통하여 도출될 수 있다.

수학식 8

$$\hat{x}_i^{new} = \mathbf{X}\mathbf{c}_i = \begin{bmatrix} x_1 & x_2 & \cdots & x_i & \cdots & x_m \end{bmatrix} \begin{bmatrix} c_{1i} & c_{2i} & \cdots & c_{ii} & \cdots & c_{mi} \end{bmatrix}^T$$

[0104]

[0105] 수학식 8은 m 개의 센서(170)들 중 i 번째 센서(170)의 센서값, 즉, i 번째 부분 센서값을 위한 1차 반복식(primary iterative equation)을 나타낸다. 이 때 $\mathbf{c}_i$ 는 다음의 수학식 9을 통하여 도출될 수 있다.

수학식 9

$$\mathbf{C} = \mathbf{Q}^{-1}\mathbf{B}\mathbf{W}_d = \begin{bmatrix} \mathbf{c}_1 & \mathbf{c}_2 & \cdots & \mathbf{c}_i & \cdots & \mathbf{c}_m \end{bmatrix}$$

[0106]

[0107] 이 때 $\mathbf{Q}$ 는 화이트닝 행렬을 나타내고, $\mathbf{B}$ 는 행렬 $\mathbf{S}$ 의 직교 행렬을 나타내며, 행렬 $\mathbf{W}_d$ 는 수학식 2의 행렬 $\mathbf{W}$ 의 도미넌트 부분(dominant part)이다. 이 때, $\mathbf{c}_i$ 는 행렬 $\mathbf{Q}^{-1}\mathbf{B}\mathbf{W}_d$ 의 i 번째 행에 해당되는 행렬을 나타내며, 수학식 8의 $[c_{1i} \ c_{2i} \ \cdots \ c_{ii} \ \cdots \ c_{mi}]$ 에 해당된다.

[0108] 수학식 8에서 $\mathbf{c}_i$ 의 전치행렬 $\mathbf{c}_i^T$ 과 $\hat{x}_i^{old}$ 은 각각 다음의 수학식 10 및 수학식 11로 표현될 수 있다.

수학식 10

$$\mathbf{c}_i^T = \begin{bmatrix} c_{1i} & c_{2i} & \cdots & c_{ii} & \cdots & c_{mi} \end{bmatrix}^T = \begin{bmatrix} \mathbf{c}_{-i}^T & c_{ii} & \mathbf{c}_{+i}^T \end{bmatrix}$$

[0109]

[0110] 아래 첨자 -i는 1부터 i-1까지를 의미하고, 아래 첨자 +i는 i+1부터 m까지를 의미한다.

[0111] 수학식 9과 수학식 10을 수학식 8에 대입하면 다음의 수학식 11이 도출된다.

수학식 11

$$\hat{x}_i^{new} = \begin{bmatrix} \mathbf{c}_{-i}^T & 0 & \mathbf{c}_{+i}^T \end{bmatrix} \mathbf{x} + c_{ii} \hat{x}_i^{old}$$

[0112]

[0113] 이 때 수학식 11은 전체 센서값들 중 i번째 부분 센서값의 오류 복원값을 구하기 위한 것이므로 수학식 11에서 영행렬 0은 i번째 부분 센서값에 해당되는 것이다.

[0114] 즉, 센서오류확인부(150)는 정상인 부분 센서값을 바탕으로 비정상 센서값의 오류 복원값을 도출할 수 있다. 따라서 센서오류확인부(150)는 첫 번째 부분 센서값 내지 m 번째 부분 센서값 중 i번째 부분 센서값을 제외한 나머지 부분 센서값들을 이용하여 i번째 부분 센서값에 대한 오류 복원값을 도출할 수 있다.

[0115] 또한 $\hat{x}_i^{old}$ 는 다음의 수학식 12와 같다.

수학식 12

$$\hat{x}_i^{old} = \mathbf{C}\mathbf{x}$$

[0116]

[0117] 수학식 11을 반복하면 반복결과는 다음의 수학식 13으로 수렴하므로 i번째 부분 센서값의 오류 복원값은 수학식 13과 같다.

수학식 13

$$\hat{x}_i^* = \frac{\begin{bmatrix} \mathbf{c}_{-i}^T & 0 & \mathbf{c}_{+i}^T \end{bmatrix} \mathbf{x}}{1 - c_{ii}}$$

[0118]

[0119] 이와 같은 본 발명의 실시예에 따른 센서 모니터링 장치는 수학식 13과 같은 오류 복원값을 구하기 위한 정보를 센서오류확인부(150)에 저장하여 센서오류확인부(150)가 센서값의 입력에 따라 오류 복원값을 도출할 수 있다.

[0120] 이와 다르게 도 5에 도시된 바와 같이, 본 발명의 실시예에 따른 센서 모니터링 장치는 수학식 8을 반복 계산하여 오류 복원값을 도출하는 센서오류복원부(190)를 더 포함할 수 있다. 이 경우 센서오류확인부(150)는 센서오류복원부(190)에 의하여 도출된 오류 복원값을 이용하여 제2 오차계산을 수행할 수 있다.

[0121] 이와 같이 본 발명의 실시예에 따른 센서 모니터링 장치는 센서값들을 모니터링하여 오류가 일어난 센서(170)를 검출하고 비정상 센서값을 복원할 수 있다. 이 때 도 6(a) 및 도 6(b)에 도시된 바와 같이, 센서값들은 비가우시안 확률밀도분포를 따를 수 있다. 즉, 본 발명의 실시예에 따른 센서 모니터링 장치는 센서값들이 비가우시안 확률밀도분포를 따를 때 오류가 발생한 센서(170)의 검출 및 비정상적인 센서값을 복원할 수 있다.

[0122] 도 6(a) 및 도 6(b)의 그래프에서 가로축은 auto-scaling이 이루어진 센서값을 나타낸다. 도 6(a)의 그래프 세로축은 확률밀도를 나타내고, 도 6(b)의 그래프 세로축은 누적정규확률을 나타낸다. 도 6(a)의 그래프는 센서값 0을 중심으로 대칭이 아니고 도 6(b)에 도시된 바와 같이 가우시안 분포에 대한 가이드라인이 센서값에 대한 누적정규확률보다 작으므로 센서값들은 비가우시안 확률밀도분포를 따른다는 것을 알 수 있다.

[0123] 이상에서 설명된 센서 모니터링 장치는 도 7과 같은 컴퓨팅 장치에 의하여 구현될 수 있다. 도 7에 도시된 바와 같이, 컴퓨팅 장치는 메모리(memory)(701), 메모리 컨트롤러(memory controller)(702), 프로세서(processor)(703), 주변 인터페이스(peripheral interface)(704), 입출력 주변장치(input/output peripherals)(705) 및 외부 포트(external port)(706)를 포함할 수 있다.

[0124] 이러한 컴퓨팅 장치의 구성요소들은 하나 이상의 통신 버스(communication bus)나 신호 라인(signal line)(707)을 통하여 서로 통신할 수 있다. 이와 같은 컴퓨팅 장치는 도 7에 도시된 것보다 더 적거나 더 많은 구성요소를 가질 수 있다. 도 7에 도시된 컴퓨팅 장치는 하드웨어(hardware), 소프트웨어(software) 또는 이들의 조합에 의하여 구현될 수 있다.

[0125] 메모리(701)는 소프트웨어 구성요소를 저장하며, 소프트웨어 구성요소는 오퍼레이팅 시스템(operating system)(711), 성분도출모듈(712), 센서오류검출모듈(713), 센서오류확인모듈(714)을 포함할 수 있다. 오퍼레이팅 시스템(711)은 일반적인 시스템 태스크(system task)를 제어하기 위한 다양한 소프트웨어 컴포넌트와 드라이버를 포함할 수 있다. 본 발명의 실시예에 따른 센서 모니터링 장치는 Microsoft Windows나 리눅스 등과 같은 다양한 오퍼레이팅 시스템을 사용할 수 있다.

[0126] 프로세서(703)는 성분도출모듈(712), 센서오류검출모듈(713), 센서오류확인모듈(714)을 통하여 앞서 설명된 성분도출부(110), 센서오류검출부(130) 및 센서오류확인부(150)의 동작을 수행할 수 있으며, 이와 같은 동작은 앞서 상세히 설명하였으므로 이에 대한 설명은 생략된다. 프로세서(703)가 이와 같은 동작을 수행할 때 필요한 시간 정보를 타이머(708)를 통하여 획득할 수 있다.

- [0127] 메모리(701)는 프로세서(703)로부터 원격에 위치하는 데이터 베이스와 같은 스토리지(storage)를 더 포함할 수 있다. 이러한 스토리지는 외부 포트(external port)(706)나 통신 네트워크(미도시)를 통하여 접속가능한 네트워크 부착 스토리지와 같은 것일 수 있다. 이 때 통신 네트워크는 인터넷이나 근거리 통신망(local area network)일 수 있으나 이에 한정되는 것은 아니다.
- [0128] 메모리 컨트롤러(702)는 프로세서(703)나 주변 인터페이스(704)와 같은 다른 구성요소들이 메모리(701)에 접속하는 것을 제어할 수 있다.
- [0129] 주변 인터페이스(704)는 프로세서(703)와 메모리(701)에 입출력 주변장치(405)를 연결시킬 수 있다.
- [0130] 외부 포트(706)는 외부의 장치를 도 7의 컴퓨팅 장치에 커플링(coupling)하기 위한 것으로 센서(170)가 직접 또는 간접적으로 연결될 수 있다.
- [0131] 이와 같은 컴퓨팅 장치는 본 발명의 실시예에 따른 센서 모니터링 장치가 구현될 수 있는 하나의 예시일 뿐이며 이에 한정되는 것은 아니다.
- [0132] 이와 같이 본 발명의 실시예에 따른 센서 모니터링 장치는 오퍼레이팅 시스템 기반의 컴퓨팅 장치에 구현될 수도 있으나 성분도출모듈(712), 센서오류검출모듈(713), 센서오류확인모듈(714)이 임베딩 시스템(embedding system)으로 구현될 수도 있다.
- [0133] 다음으로 도면을 참조하여 본 발명의 실시예에 따른 센서 모니터링 방법을 설명한다.
- [0134] 지금까지 도 1을 주로 참조하여 센서 모니터링 장치의 내부 구성 및 각 구성부에 대한 기능을 설명하였다. 그러나, 이는 일 실시예에 불과하며, 해당 구성부의 기능이 세분화되어 복수개의 구성부로 구현되거나, 반대로 여러 구성부의 기능이 하나의 구성부로서 통합되어 기능이 수행될 수 있다. 따라서, 이하 본 발명의 실시예에 따른 센서 모니터링 방법을 설명하면서 도 1의 장비진단장치의 구성부를 주체로 하여 설명한다.
- [0135] 도 8은 본 발명의 실시예에 따른 센서 모니터링 방법을 나타내는 순서도이다.
- [0136] 본 발명의 실시예에 따른 센서 모니터링 방법은 센서값의 입력에 따라 센서값을 형성하는 성분을 도출하는 단계(S810), 센서값 및 성분 사이의 관계를 만족하는 상관관계모델로부터 예측되는 센서값의 예측값과 센서값 사이의 차이를 이용하여 제1 오차계산을 수행하는 단계(S820), 센서값에 포함된 부분 센서값의 오류 복원값 및 성분 사이의 관계를 만족하는 상관관계모델로부터 예측되는 예측 복원값과, 오류 복원값 사이의 차이를 이용하여 제2 오차계산을 수행하는 단계(S830) 및 제1 오차계산 결과와 제2 오차계산 결과에 따라 부분 센서값의 정상 여부를 도출하는 단계(S840)을 포함한다.
- [0137] 센서값의 성분 도출 단계(S810), 제1 오차계산 수행 단계(S820), 제2 오차계산 수행 단계(S830) 및 정상 여부 도출 단계(S840)는 앞서 성분도출부(110), 센서오류검출부(130), 센서오류확인부(150)를 통하여 설명되었으므로 이들 단계들에 대한 설명은 생략된다.
- [0138] 입력되는 센서값들은 서로 상관관계가 있고, 도출되는 성분들은 서로 상관관계가 없을 수 있다. 제1 오차계산 결과에 대한 제2 오차계산 결과의 비율로 부분 센서값의 정상 여부를 도출될 수 있다.
- [0139] 센서값은 복수의 부분 센서값을 포함하며, 복수의 부분 센서값 중 하나가 정상이고 다른 하나가 비정상인 경우, 비정상인 부분 센서값에 해당되는 비율은 정상인 부분 센서값에 해당되는 비율은 보다 작을 수 있다. 센서값들은 비가우시안 확률밀도분포를 따를 수 있다.
- [0140] 이상에서 기술한 본 발명의 실시예에 따른 센서 모니터링 방법은 프로그램으로 구현되고 컴퓨터로 읽을 수 있는 기록매체에 기록될 수 있다.
- [0141] 본 발명의 실시예에 따른 센서 모니터링 방법을 구현하기 위한 기록매체에 기록되는 프로그램은, 센서값의 입력에 따라 센서값을 형성하는 성분을 도출하는 기능, 센서값 및 성분 사이의 관계를 만족하는 상관관계모델로부터 예측되는 센서값의 예측값과 센서값 사이의 차이를 이용하여 제1 오차계산을 수행하는 기능, 센서값에 포함된 부분 센서값의 오류 복원값 및 성분 사이의 관계를 만족하는 상관관계모델로부터 예측되는 예측 복원값과, 오류 복원값 사이의 차이를 이용하여 제2 오차계산을 수행하는 기능 및 제1 오차계산 결과와 제2 오차계산 결과에 따라 부분 센서값의 정상 여부를 도출하는 기능을 실행할 수 있다.
- [0142] 다음으로 도면을 참조하여 본 발명의 실시예에 따른 센서 모니터링 장치, 센서 모니터링 방법 및 기록매체의 센서값 처리 결과를 설명한다.

[0143] 도 9(a) 내지 도 9(d)는 센서(170)의 다양한 오류를 나타낸다. 도 9(a) 내지 도 9(d)에서 빈 원은 정상적인 센서출력값을 나타내고, 점원은 오류가 일어난 센서출력값을 나타낸다.

[0144] 도 9(a) 내지 도 9(d)는 각각 바이어스(bias) 오류, 드리프트(drifting) 오류, 정확도 저하 오류 및 완전 오류를 나타낸다. 바이어스 오류는 센서출력값이 세로축을 따라 이동하는 것으로 나타날 수 있다. 드리프트 오류는 센서출력값이 가로축을 따라 이동하는 것으로 나타날 수 있다. 정확도 저하 오류는 센서출력값이 일정한 값으로 계속하여 나타날 수 있다. 완전 오류는 센서출력값이 무작위로 나타나는 것을 나타낼 수 있다.

[0145] 도 10(a) 및 도 10(b)는 바이어스 오류의 검출을 나타낸다. 도 10(a)는 본 발명의 실시예에 따라 ICA 기반 SPE를 사용하여 센서의 오류를 검출한 결과를 나타내고, 도 10(b)는 PCA 기반 SPE를 사용하여 센서(170)의 오류를 검출한 결과를 나타낸다.

[0146] 도 10(a)에 도시된 바와 같이, ICA 기반 SPE를 사용하는 경우 신뢰구간(confidence limit)을 벗어나는 바이어스 오류가 대부분 검출되나, 도 10(b)에 도시된 바와 같이, PCA 기반 SPE를 사용하는 경우 신뢰 구간을 벗어나는 바이어스 오류의 대부분이 검출되지 않음을 알 수 있다.

[0147] 도 11(a) 및 도 11(b)는 센서값의 복원 결과를 나타내는 그래프이다. 도 11(a)는 본 발명의 실시예에 따라 ICA를 사용하여 센서(170)의 오류를 복원한 결과를 나타내고, 도 10(b)는 PCA를 사용하여 센서(170)의 오류를 복원한 결과를 나타낸다.

[0148] 도 11(a) 및 도 11(b)에 도시된 바와 같이, 본 발명의 실시예에 따라 ICA 를 사용하여 센서(170)의 오류를 복원한 결과가 PCA를 사용하여 복원한 결과에 비하여 정상적인 데이터(normal data)에 근접함을 알 수 있다.

[0149] 이상과 같이 본 발명에 따른 실시예를 살펴보았으며, 앞서 설명된 실시예 이외에도 본 발명이 그 취지나 범주에서 벗어남이 없이 다른 특정 형태로 구체화 될 수 있다는 사실은 해당 기술에 통상의 지식을 가진 이들에게는 자명한 것이다. 그러므로, 상술된 실시예는 제한적인 것이 아니라 예시적인 것으로 여겨져야 하고, 이에 따라 본 발명은 상술한 설명에 한정되지 않고 첨부된 청구항의 범주 및 그 동등 범위 내에서 변경될 수도 있다.

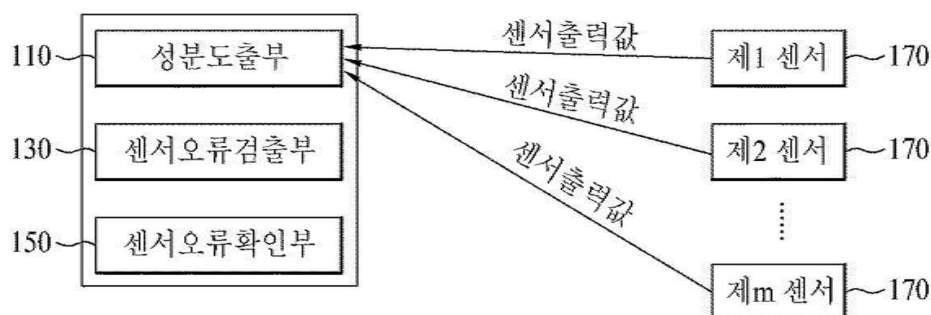
부호의 설명

[0150]

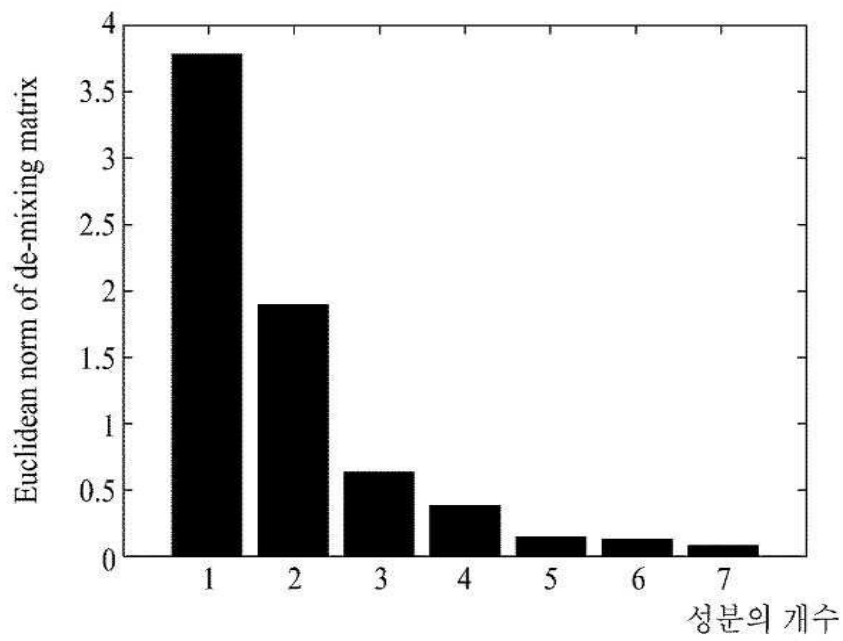
110 : 성분도출부	130 : 센서오류검출부
150 : 센서오류확인부	170 : 센서
190 : 센서오류복원부	

도면

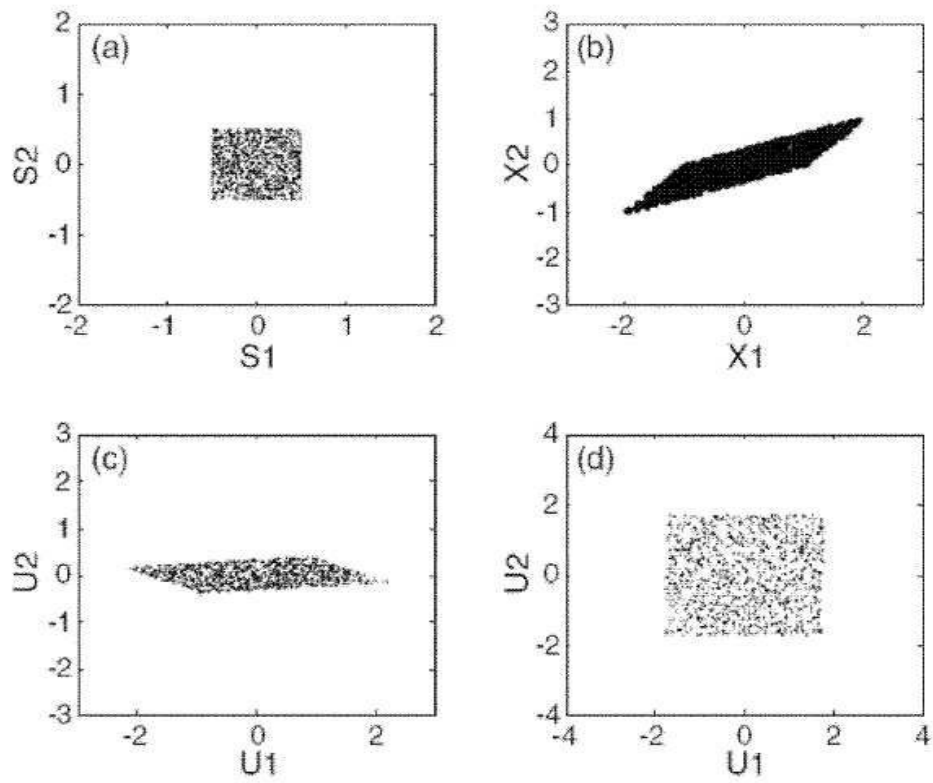
도면1



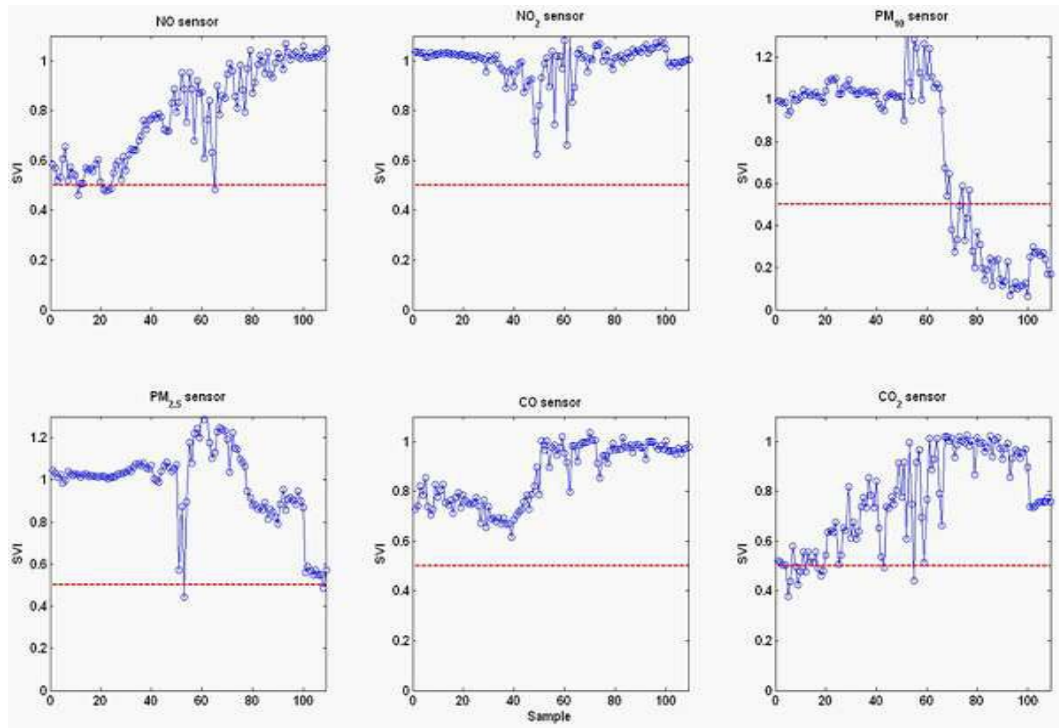
도면2



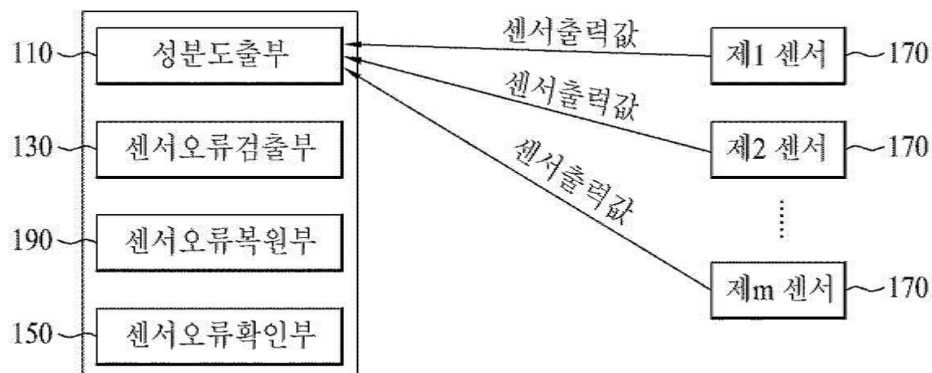
도면3



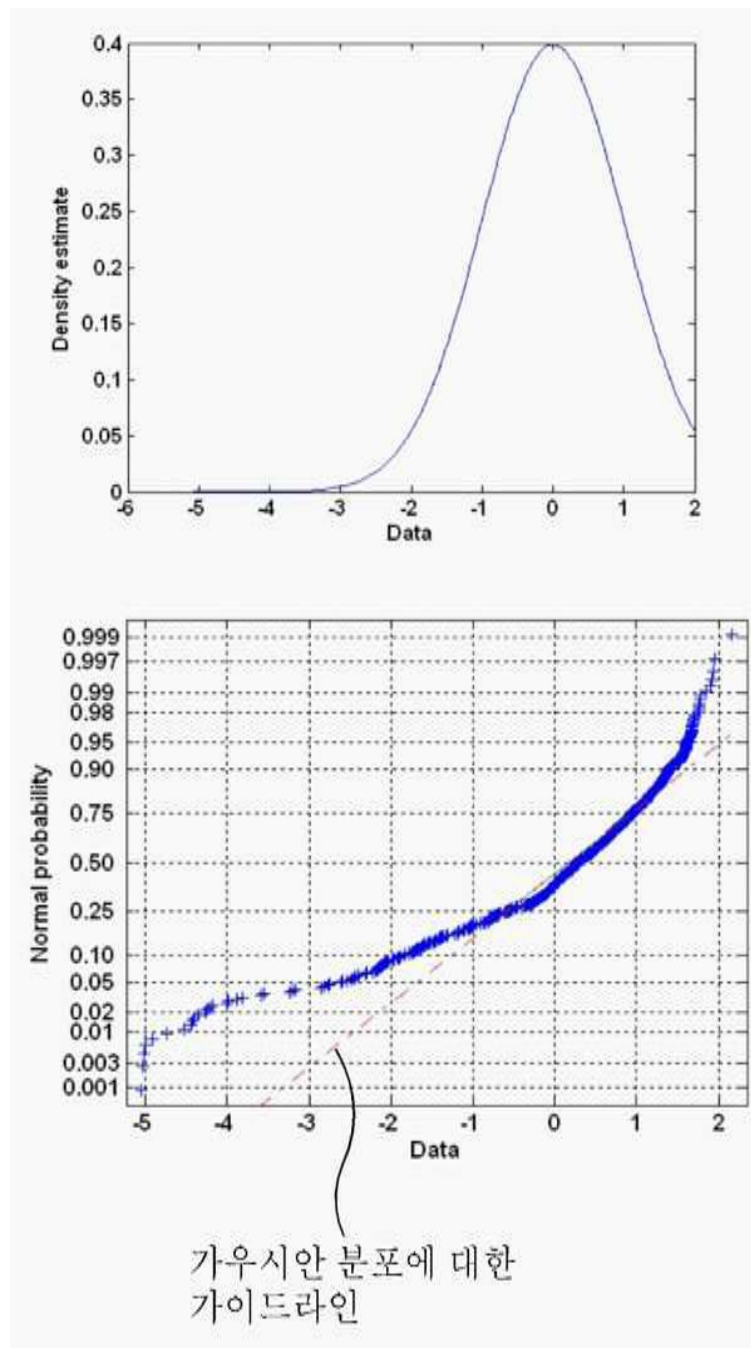
도면4



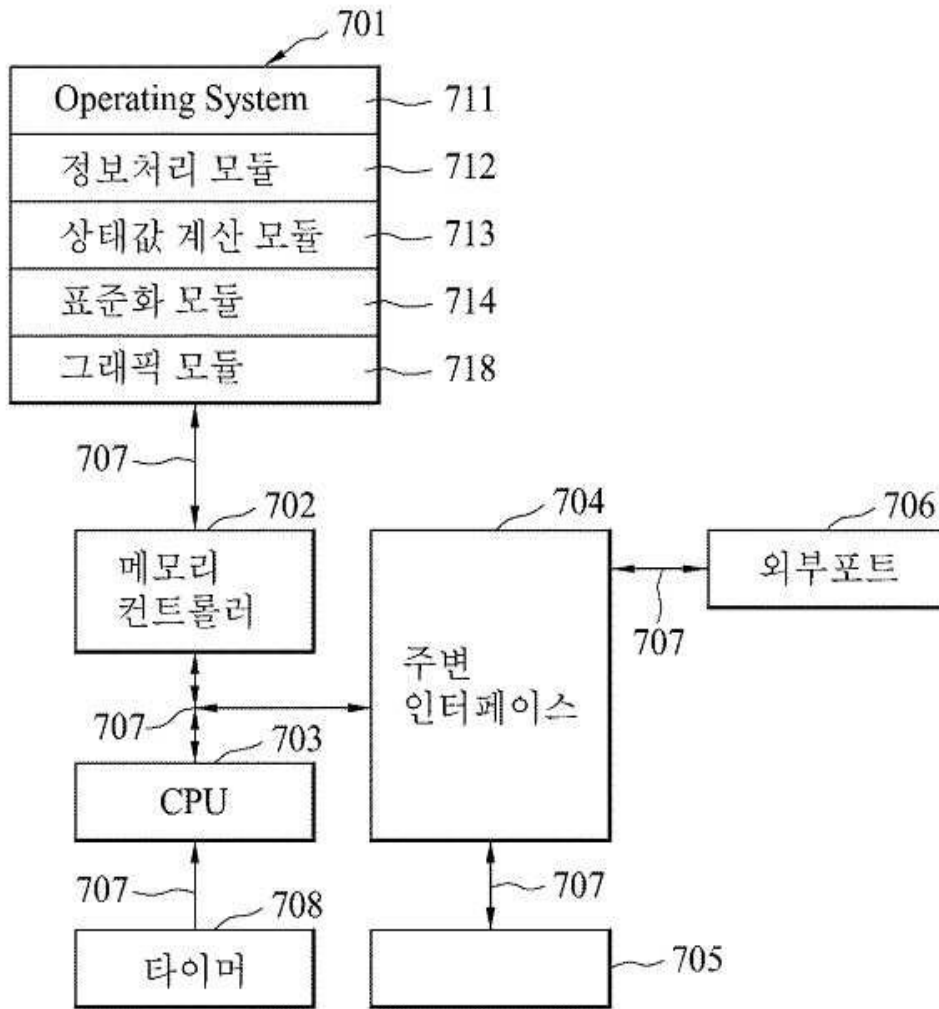
도면5



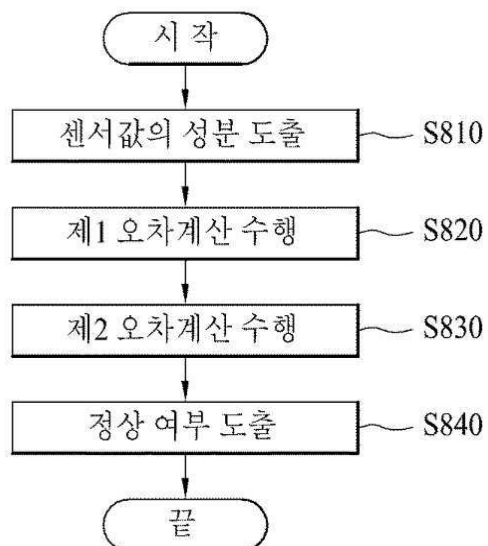
도면6



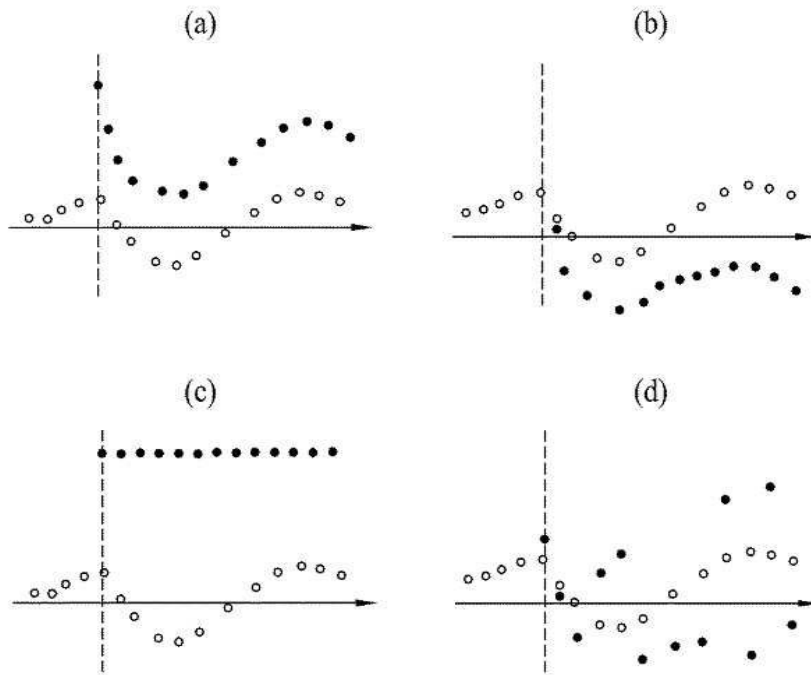
도면7



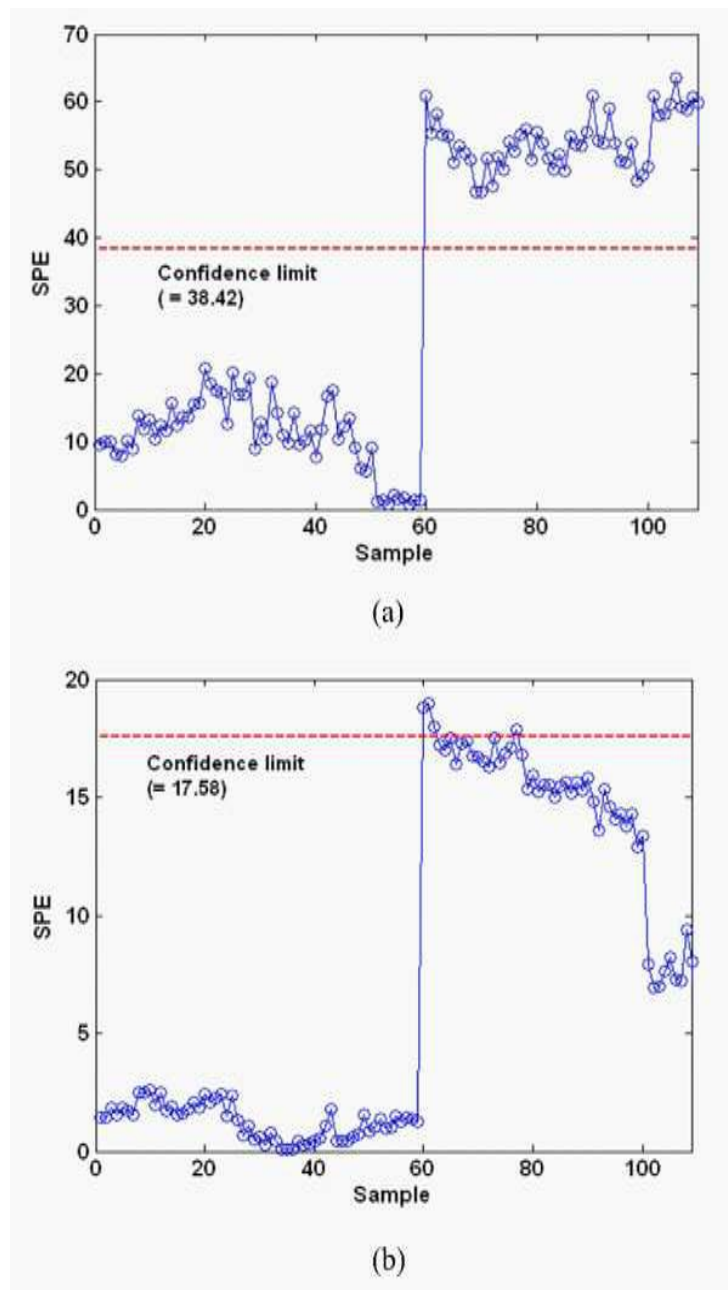
도면8



도면9



도면10



도면11

